



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

## NÁVRH TESTOVACÍ LINEÁRNÍ OSY

DESIGN OF LINEAR AXIS

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Štěpán Dulava

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing., Dipl.-Ing Michal Holub, Ph.D.

BRNO 2016

# Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	<b>Štěpán Dulava</b>
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce:	<b>Ing., Dipl.-Ing Michal Holub, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Návrh testovací lineární osy

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Lineární osy CNC obráběcích strojů podléhají různým okolním vlivům, mezi které patří vibrace, nečistoty a teplo. Jednou z hlavních komponent lineární osy je jeho odmořovací systém, který bývá nejčastěji řešen na principu přímého odměřování. Tyto lineární pravítka je potom možné dále dělit dle principu měření na relativní a absolutní s další možnou volbou materiálu, které bývají nejčastěji sklo a ocel. U těchto lineárních pravítek potom vzniká otázka vlivu okolního tepla na přesnost polohování lineární osy, která může být ovlivněna změnou délkové roztažnosti daného materiálu. Pro ověření a posouzení těchto vlivů působících na pravítka má vzniknout konstrukční návrh testovací lineární osy.

### Cíle bakalářské práce:

- rešerše v oblasti lineárních os a jednotlivých lineárních odmořovacích zařízení
- návrh konstrukce dle zadání práce
- 3D model + výkresová dokumentace navrženého řešení

### Seznam literatury:

Marek, J., Novotný, L., Smolík, J., Blecha, P., Březina, T., Sulitka, M., et al. (2010): Konstrukce CNC obráběcích strojů (MM Speciál., p. 420). Praha: MM publishing, s.r.o.

Berník, P., Píč, J. (1986): Obráběcí stroje - konstrukce a výpočty. 2. vyd. Praha: SNTL, 573 s. ISBN 04-235-86.

Weck, M., Brecher, Ch. (2006): Werkzeugmaschinen: Konstruktion und Berechnung. überarb. Auflage. Verlag Berlin Heidelberg: Springer, 701 s. ISBN 3-540-22502-1.

Borský, V. (1986): Základy stavby obráběcích strojů. 1. vyd. 145 s. ISBN 55-600-86.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty



## ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem testovací lineární osy. Navrhovaná osa bude sloužit, pro vyhodnocování vlivů tepla na vlastnostech lineárních odměřovacích snímačů Heidenhain řady LS 487. První část obsahuje rešerši v oblasti lineárních os a jednotlivých odměřovacích zařízení. V této části jsou podrobně popsány lineární snímače firmy Heidenhain. Druhá část popisuje návrh jednotlivých součástí, ze kterých bude sestavena nová lineární osa.

## KLÍČOVÁ SLOVA

lineární osa, lineární snímače polohy, konstrukční návrh, Heidenhain

## ABSTRACT

This Thesis addresses a constructional design of test linear axis. Designed axis is an instrument to evaluate heat impact on qualities of linear metering encoders LS 487 produced by Heidenhain company. In the first part, there is a list of significant features, which are considered to be important in the field of linear axis and metering devices. The part offers detailed description of linear encoders of Heidenhain company. The second part offers description of designing particular components, off which is the new linear axis constructed.

## KEYWORDS

linear axis, linear encoders, engineering design, Heidenhain



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

DULAVA, Š. *Návrh testovací lineární osy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 40 s. Vedoucí bakalářské práce Ing., Dipl.-Ing Michal Holub, Ph.D..



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing., Dipl.-Ing Michal Holub, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 27. května 2016

.....

Jméno a přímení



## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce panu Ing., Dipl.-Ing Michal Holub, Ph.D. za čas, vedení, odborné a cenné rady, které mi poskytnul.

Děkuji také své rodině a přátelům za podporu a přízeň během studia.



## OBSAH

Úvod .....	6
1 Lineární osy .....	7
1.1 Kuličkový šroub a matice .....	8
1.2 Pastorek a hřeben .....	9
1.3 Šnek a hřeben .....	9
2 Servopohon .....	11
3 Lineární motor .....	12
3.1 Asynchronní lineární motor .....	13
3.2 Synchronní lineární motor .....	13
4 Lineární odměřování polohy .....	15
4.1 Přímé a nepřímé odměřování .....	15
4.2 Přírůstkové a absolutní odměřování .....	16
4.3 Indukční princip .....	16
4.4 Magnetický princip .....	16
4.5 Fotoelektrický princip .....	17
4.6 Laserový princip .....	19
5 Právítka Heidenhain .....	20
5.1 Konstrukce .....	20
5.2 Tepelné vlastnosti .....	20
5.3 Dynamické vlastnosti .....	21
6 Návrh testovací lineární osy .....	23
6.1 Stávající osa .....	23
6.2 Montážní deska .....	26
6.3 Umístění lineárních snímačů .....	26
6.4 Suport .....	27
6.5 Spojková příruba .....	28
6.6 Příruba pro energetický řetěz .....	29
6.7 Zakrytování lineárních snímačů .....	29
6.8 Návrh kartáčové lišty .....	31
6.9 Návrh energetického nosiče .....	32
Závěr .....	34
Seznam použitých zkratk a symbolů .....	37
Seznam příloh .....	38





## ÚVOD

Tato bakalářská práce byla vytvořena na základě požadavku konstrukčního návrhu zkušební lineární osy. U přesných lineárních os může hrát velkou roli teplotní roztažnost jednotlivých komponent stroje. Jednou ze stěžejních komponent CNC obráběcích strojů jsou odměřovací zařízení, které jsou vyráběny v různých délkových i materiálových provedeních. Cílem práce je navrhnout testovací zařízení, které umožní sledovat výše uvedené vlivy.

V rešeršní části jsou popsány jednotlivé principy lineárních mechanismů, jejich využití a vlastnosti. Dále jsou popsány pohony pro lineární osy, zejména princip přímého pohonu. Třetí teoretická část je věnována odměřování polohy, popisující jednotlivá rozdělení a různé principy odměření polohy.

Praktická část se zabývá návrhem testovací lineární osy s přímým pohonem. Základ, tvoří stávající osa s lineárním motorem, ke kterému budou přidány odměřovací pravítka Heidenhain LS 487. Je třeba vhodně tyto pravítka umístit ke stávající ose a připojit k pohyblivé části osy. Z principu měření, které bude na této ose aplikováno je nutné lineární snímače zakrytovat.



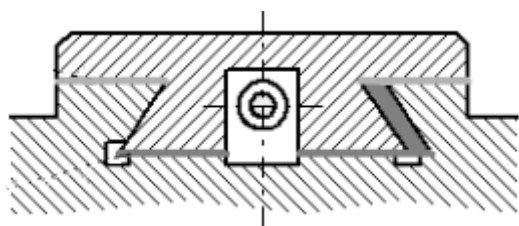
## 1 LINEÁRNÍ OSY

Lineární osy se využívají v mnoha průmyslových oblastech a jsou v různých konstrukčních řešeních. Volbu jednotlivých konstrukčních řešení ovlivňuje několik stanovisek, které je potřeba správně vyhodnotit. Stále přetrvávající a hlavní požadavky na lineární osy jsou vysoká přesnost a tuhost. Dalšími určujícími parametry vzhledem ke konstrukci je rychlost posuvu, účinnost, oteplování, samosvornost, životnost jednotlivých částí osy, nebo potlačování trhavých pohybů.

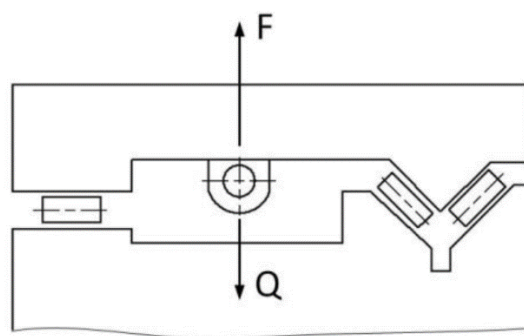


Obr. 1 Lineární osa s lineárním pohonem [13]

Vedení je soustava ploch, po kterých se stýká pohyblivá část (suport) s nepohyblivou (lože) a musí zajišťovat pohyb po geometricky přesné dráze. Podle druhu tření mezi styčnými plochami se rozlišuje vedení na: kluzné hydrostatické, kluzné hydrodynamické, valivé, kombinované a aerostatické. Na vodící plochy jsou kladeny všeobecné požadavky. Vysoká statická a dynamická tuhost, odolné proti opotřebení, dokonalé mazání, aj.. Materiály vodících ploch jsou šedá litina, kalená šedá litina, kalená ocel, umělé hmoty. [3]



Obr.2 Kluzné vedení – rybinové [22]



Obr. 3 Valivé vedení [16]



Nedílnou součástí lineární osy je jejich přesné polohování. Od přesného odměřování se odvíjí výsledná kvalita a celková přesnost stroje.

Důležitou podmínkou pro správnou funkci vedení je zabránit vnikání nečistot a prachu mezi vodící plochy, které se po sobě pohybují. Nečistoty na vodící ploše podstatně urychlují opotřebení a v mnoha případech mají za následek zadírávání vodících ploch. Mezi hlavní opotřebení, zhoršující kvalitu povrchu vedení u obráběcích strojů patří především opotřebení brusné, neboli abrazivní. Podíl tohoto opotřebení dosahuje až 90 %. Hlavní prostředky snižující toto opotřebení jsou kryty, stěrače nebo tvrdost vodících ploch.

Volba druhu a způsobu mazání nelze přesně určit, protože se odvíjí od různých parametrů. Konkrétní způsob mazání je závislý na zatížení, provozních podmínkách nebo na prostředí, kde stroj bude provozován.

## 1.1 KULIČKOVÝ ŠROUB A MATICE

Kuličkový šroub je konstrukční element pohybového ústrojí převádějící rotační pohyb na přímočarý s vysokou účinností, charakterizující s vysokou tuhostí, přesností a trvanlivostí. U kuličkových šroubů je kladen důraz na přesné a tuhé uložení s rovnoběžností osy kuličkového šroubu a vodících ploch.

Zátěž maticových jednotek může být pouze v axiálním směru. U dlouhých a štíhlých kuličkových šroubů dochází k průhybu hřídele vzniklého jeho hmotností. Vhodnou konstrukcí pohybového ústrojí, lze tento průhyb eliminovat. Šroub a matice jsou ocelové, jejich závity jsou vyrobeny s velkou přesností. Povrchy závitů jsou kaleny a broušeny.



*Obr. 4 Kuličkový šroub [14]*

Mezi hlavní přednosti kuličkového šroubu patří vysoká účinnost 90% a více, minimální oteplování během provozu, možnost odstranění vůle nebo možnost vytvoření předpětí, malé opotřebení a tím vysoká životnost nebo potlačení vzniku trhavých pohybů. [1,2]



## 1.2 PASTOREK A HŘEBEN

Pastorek a hřeben slouží pro pohony posuvů u pracovních stolů obráběcích strojů s dlouhými zdvihy (např. vyvrtávací stroje, hoblovky, apod.) kde použití posuvných šroubu není již vhodné. Mezi tyto vlivy patří tuhost, vysoké otáčky, velký převod aj. Pastorek a hřeben má proti kuličkovému šroubu menší tuhost, lepší účinnost a menší převod. Výrobní přesnost je zpravidla menší než u kuličkového šroubu, neboť hřeben nelze vyrobít na běžných strojích s potřebnou přesností.

Díky tomu se používá např. k posuvu suportu u soustruhů, kde není potřeba přesné odměřování dráhy. Tato kinematická dvojice je nesamosvorná, což vyžaduje připojení brzdy na svislých osách nebo při výpadku pohonu. [3]

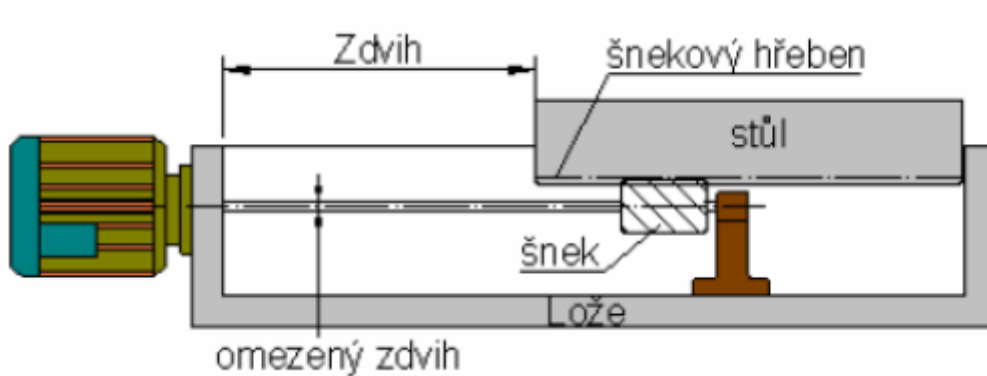


*Obr. 5 Pastorek a hřeben [15]*

## 1.3 ŠNEK A HŘEBEN

Šnek a hřeben je mechanismus využíván ve dvou variantách. První varianta, se skládá z hřídelem se šnekovými závity po celé délce závitové části. Pokud šnekový hřídel dosahuje dlouhých rozměrů, dochází k jeho zkrucování, což je nežádoucí. Druhá varianta, daleko používanější obsahuje šnek se šnekovým hřebenem.

Šnek se šnekovým hřeben tvoří částečnou matici, proto je styk mnohem příznivější než mezi šnekem a hřebenem. Vzniklé opotřebení je značně menší než u šneku a hřebenu, dokonce opotřebení u šroubu a matice bývá vyšší. Měrný tlak mezi šnekem a šnekovým hřeben ovlivňuje výběr výrobního materiálu. Šnek je vyráběn z oceli, naopak u šnekových hřebenů se používají měkčí materiály, např. bronz aby se docílilo dřívějšího opotřebení.



Obr. 6 Schéma šneku a šnekového hřebenu [23]

Pokud posuvná soustava vyžaduje vysokou hodnotu převodu lze využít princip hydrostatického šnekového hřebene. Tento mechanismu je vhodný pro pohony posuvů pracovních stolů obráběcích strojů, např. u portálových frézek. Výhody šneku a hřebenu spočívají v minimálním tření a vysoké tuhosti [3].



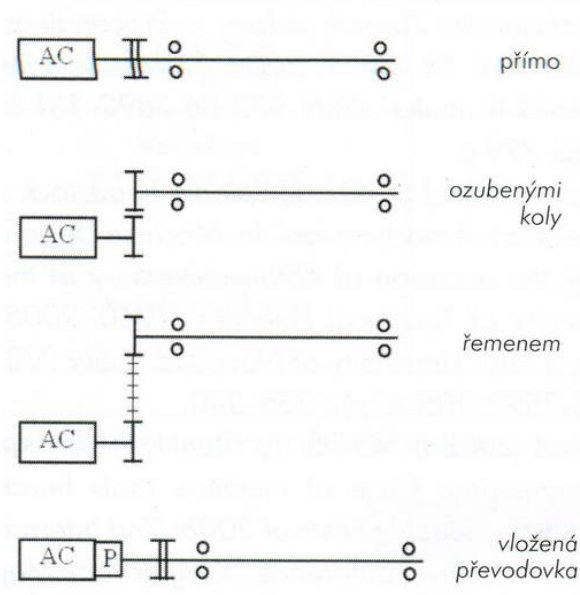
## 2 SERVOPOHON

Elektrický servopohon je regulační pohon, sestaven z elektromotoru, výkonového polovodičového měniče pro napájení, řízení motoru z regulátoru otáček a polohy. Součástí motoru mohou být snímače rychlosti a polohy. Pohon musí umožnit čtyřkvadrantový provoz, tzn. oba směry točení a oba směry momentu. Servopohony se dělí na dvě skupiny, rychlostní (otáčkový) a polohový servomotor.

Rychlostní (otáčkový) servopohon má pouze otáčkovou zpětnou vazbu a poskytuje rychlé a přesné sledování zadávané rychlosti. Polohový servopohon je servomechanismus pro řízení polohy, buď úhlu natočení nebo pomocí převodu posuvné dráhy. Nejužívanější rotační servopohony pro posuvové souřadnice jsou synchronní elektronické komutované elektromotory .

### ELEKTRICKY KOMUTOVANÝ MOTOR

Elektricky komutovaný motor je principiálně obrácený stejnosměrný motor, má magnety na rotoru a vinutí na statoru. Tranzistorový měnič nahrazuje funkci komutátor a podle polohy rotoru přepíná proud do jednotlivých statorových vinutí. Elektricky komutovaný motor se skládá ze statoru, který se shoduje se standardním státorem třífázového asynchronního nebo synchronního stroje. Rotory jsou dvojího konstrukčního provedení. První uspořádání je s magnety na povrchu, kdy nedochází ke koncentraci magnetického toku a magnetické indukce v mezeře odpovídá indukci permanentních magnetů. Druhé uspořádání je s magnety vestavěnými uvnitř rotoru s koncentrací magnetického toku pólovými nástavci.



Obr. 7 Způsoby napojení AC servopohonu na kuličkový šroub [16]



### 3 LINEÁRNÍ MOTOR

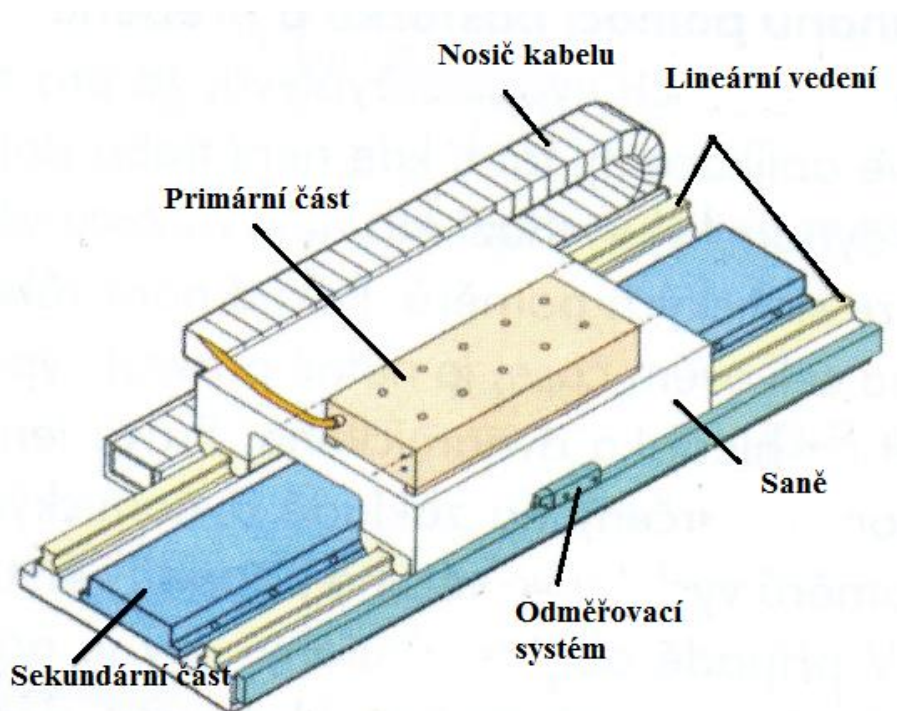
Technologické operace dnešní doby vykonávaných na CNC obráběcích strojích se rozlišuje mezi dvěma rozdílnými metodami:

- Vysokorychlostní obrábění – HSC (High Speed Cutting)
- Výkonné obrábění – HPC (High Performace Cutting)

Rozdílnost obrábění, odpovídá pohonným soustavám obráběcích strojů. Pro výkonné obrábění se používá náhon lineárních souřadnic s kuličkovým šroubem, naopak pro vysokorychlostní obrábění se využívá lineární motor. Lineární motory jsou elektromotory, díky jejich konstrukci nemusí obsahovat žádné vložené převody (ozubená kola, řemeny) jako u kuličkových šroubů. Posuvová síla vyvolaná lineárním motorem působí přímo na suport stroje. Pokud posuvová síla není dostatečná, motory se zdvojují.

U lineárních pohonů musí být odměřování polohy vyšší než u provedení s kuličkovým šroubem. Jednotlivé části motoru, pohyblivé či pevné jsou vyrobeny z feromagnetických materiálů, díky kterým vznikají přitažlivé síly, které musí být zachyceny lineárním vedením.

Hlavní výhody pohonu je jednoduchá konstrukce okolních dílů, vysoké rychlosti a zrychlení. Naopak mezi nevýhody patří magnetické síly, větší přesnost odměřování nebo menší posuvová síla. [2]



Obr. 8 Lineární motor [16]

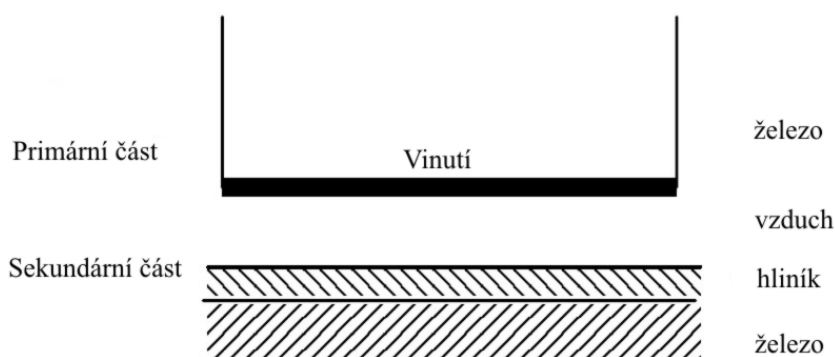


### LINEÁRNÍ MOTORY SE DĚLÍ DO DVOU SKUPIN:

- Asynchronní
- Synchronní

### 3.1 ASYNCHRONNÍ LINEÁRNÍ MOTOR

Motor je tvořen dvěma částmi, primární a sekundární. Primární část je tvořena vinutím a sekundární část je tvořena ocelovou kostrou a klecí, kterou lze nahradit plátem z vodivého neferomagnetického materiálu, např. hliníkem nebo mědí. V sekundární části se indukují proud, tímto dochází k silovému působení mezi primární a sekundární částí.



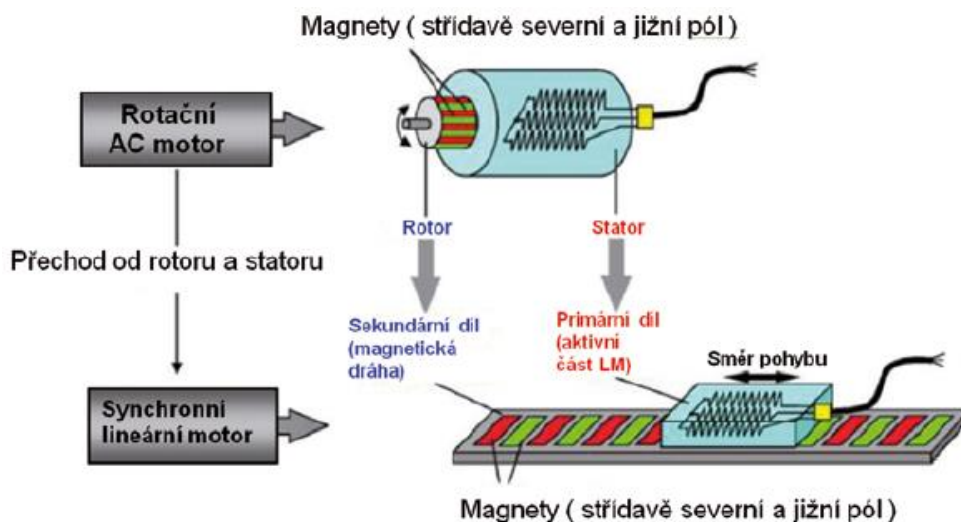
Obr. 9 Struktura lineárního asynchronního motoru [4]

Druhý způsob uspořádání sekundárního dílu lze výhodně využít v dopravnících, podavačích průmyslových manipulátorech. Další výhodou těchto pohonů je možnost přímého napájení ze standardní rozvodové sítě. [4]

### 3.2 SYNCHRONNÍ LINEÁRNÍ MOTOR

Motor pracuje na principu synchronního stroje s hladkým rotorem. Lineární motor obsahuje jak stator, tak i rotor. Statorem je označován primární díl a rotorem sekundární díl. Primární část obsahuje feromagnetický svazek složený z elektrotechnických plechů a trojfázového vinutí uloženého v jeho drážkách jako u klasických synchronních strojů. Sekundární část, která je konstrukčně umístěna proti primárnímu dílu, tvoří permanentní magnety, které jsou nalepeny na ocelové podložce. Řídící proud přiveden do primární části (jezdec), způsobí vznik magnetického pole mezi oběma částmi, čímž dochází k pohybu jezdece. Rychlost a síla pohybu se ovládá úrovní proudu. [7]





Obr. 10 Fyzikální princip lineárního motoru [7]

Motor uspořádaný jako podélně otevřený magnetický obvod konečné délky vyvolává podélné (okrajové) efekty, které zhoršují vlastnosti motoru, především generování tažné síly ve směru pohybu a účinnost. Nepravidelnost ve vzduchové mezeře, které mohou být vyvolány nevhodným tvarem permanentních magnetů, vyvolávají mechanické vibrace [4].



## 4 LINEÁRNÍ ODMĚŘOVÁNÍ POLOHY

Pro odměřování polohy se využívají snímače polohy, které se podílejí na výsledné kvalitě a přesnosti polohování celého stroje. Základní inkrement je charakteristický parametr při odměřování, což je jeho nejmenší rozlišitelná délková míra. Inkrement by měl být celé číslo, ale současné CNC systémy dokáží zpracovat i obecnou velikost inkrementu.

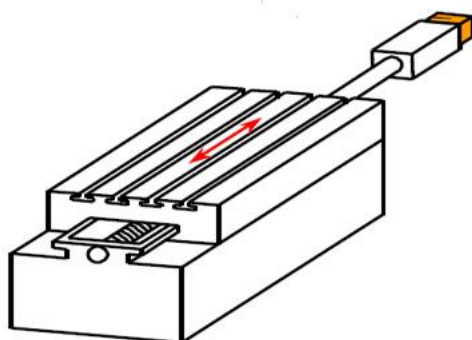
### ODMĚŘOVÁNÍ POLOHY LZE ROZDĚLIT DO NĚKOLIKA SKUPIN:

- podle způsobu odměřování
- podle druhu odměřovacího signálu
- podle druhu získané informace

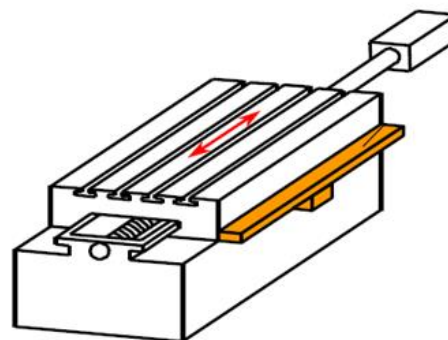
### 4.1 PŘÍMÉ A NEPŘÍMÉ ODMĚŘOVÁNÍ

Podle způsobu získání informace o poloze lze rozdělit odměřovací zařízení na, přímé a nepřímé. Přímé snímače snímají skutečnou polohu obráběcího stroje. Pohybující se část pohybové osy je spojena s pravítkem. Poloha je vyhodnocována jako relativní pohyb vzhledem ke snímací hlavě, uchycené na pevné části stroje. U přímého odměřování je obtížnější krytování a obvykle má vyšší přesnost měření oproti nepřímému odměřování.

Zjišťování polohy při nepřímém odměřování se používá rotační snímače polohy. Snímače polohy jsou přímo napojeny na konec kuličkového šroubu. Druhá možnost jak získat hodnotu polohy je pomocí signálu z odměřování vestavěného v AC servopohonu. Přesnost měření ovlivňuje chyby stoupání šroubu. Nepřímé snímače jsou levnější než přímé a snadněji se krytují. [2]



Obr. 11 Nepřímé odměřování [17]



Obr. 12 Přímé odměřování [18]



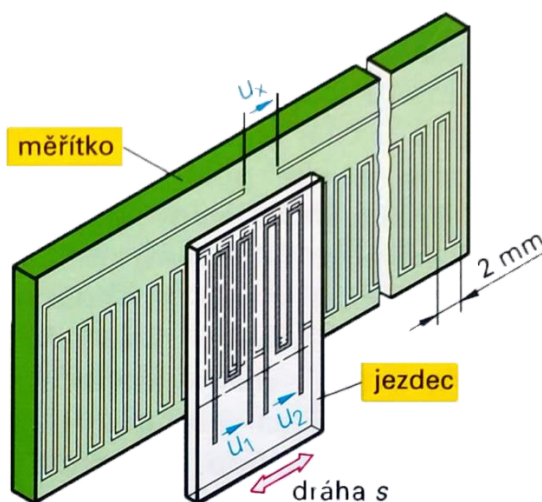
## 4.2 PŘÍRŮSTKOVÉ A ABSOLUTNÍ ODMĚŘOVÁNÍ

Podle způsobu druhu získané informace lze odměřovací zařízení rozdělit na dvě skupiny. Na inkrementální (přírůstkové) a absolutní odměřování. U přírůstkového odměřování signály ze snímačů mají charakter impulzů, které přenášejí informaci o změně polohy (inkrementu). Pokud dojde k výpadku elektrické energie, se tento údaj ztrácí. I když polohový údaj může být zachován záložním napájením, nelze zaznamenat změny polohy, které nastaly během přerušení elektrické energie. Je nezbytné po opětovném zapnutí nejprve aktualizovat polohu, tzn. najet do referenčního bodu se známou polohou a tento údaj je nastav do paměti odměřování.

Absolutní snímače polohy trvale uchovávají kompletní informaci o aktuální poloze a není zapotřebí využívat referenční polohu. Ihned po obnovení nebo výpadku zná odměřovací systém svou aktuální polohu a je okamžitě připraven k použití. [2]

## 4.3 INDUKČNÍ PRINCIP

Induktosyn je indukční snímač dráhy posunutí. Skládá se měřítko a posuvného jezdec. Posouvá-li se jezdec podél měřítka, vodiče obou součástí se navzájem kryjí a vzniká na měřítku indukovaný signál fázově posunutý. Do sekundárního vinutí (měřítko) se indukují dvě napětí, jejichž okamžité hodnoty se sčítají v jedno výsledné napětí. [5]



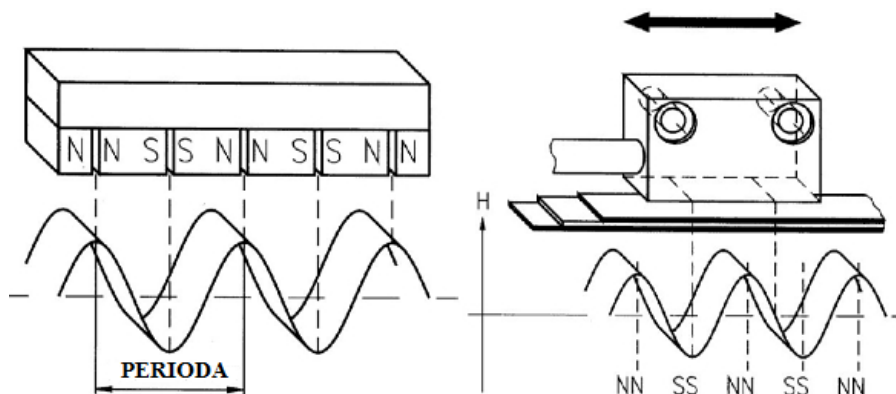
Obr. 13 Indukční princip odměřování [5]

## 4.4 MAGNETICKÝ PRINCIP

Magnetické lineární snímače fungují na principu detekce změny polarity magnetického pole permanentního magnetu snímaného Hallovým senzorem. Konstrukční provedení odměřování je magnetická páska a zapouzdřený magnetický snímač. Magnetický pásek je trvalý magnet, ve



kterém se podélně střídají oblasti severního a jižního magnetického pólu. Pokud snímač trvale snímá magnetický pásek, generuje se v něm střídavý impulsní nebo analogový elektrický signál. Snímač vyhodnocuje střídání magnetických pólů na pásku. Díky tomu zjišťuje relativní pohyb snímače vůči pásku. [6]

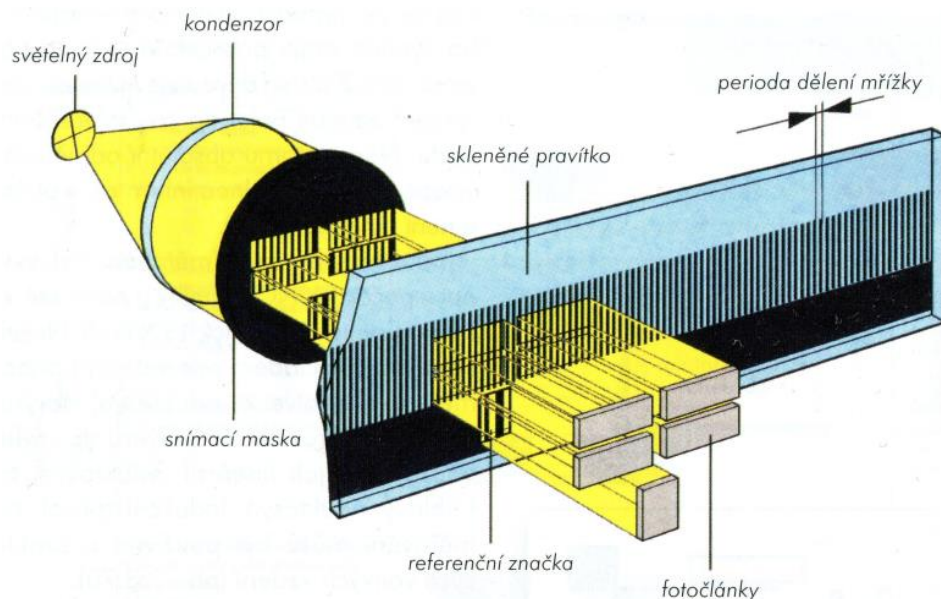


Obr. 14 Schéma magnetické pásky [6]

Obr. 15 Princip snímání magnetického snímače [6]

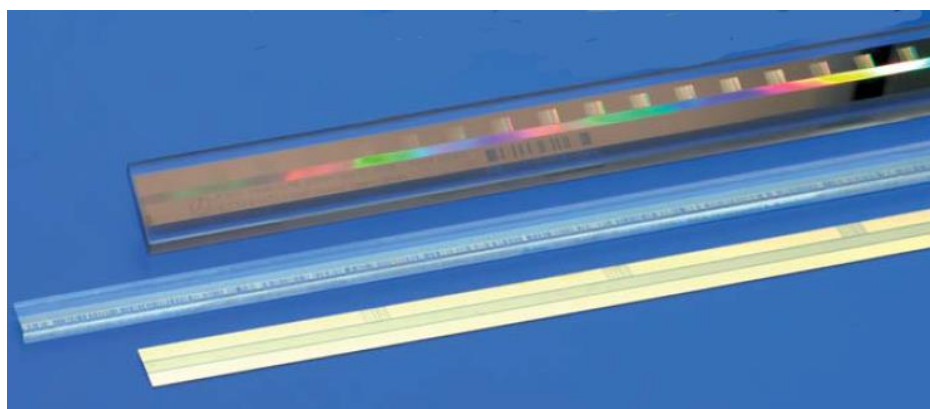
#### 4.5 FOTOELEKTRICKÝ PRINCIP

Firma Heidenhain patří mezi světovou špičku výrobců odměřovacích systémů pracujících na principu fotoelektrického snímání jemných rastrů. Fotoelektrické snímače se skládají ze snímacího vozíku a pravítka neboli měřítka. Pravítko je opatřeno mřížkou vyrobené z různých materiálů. Mřížka neboli rastr se skládá z rysek nepropouštějící a z mezer propouštějící světlo. Snímací hlava obsahuje zdroj světla (kondenzor), který světelné paprsky posílá paralelně, snímací masku se snímací mřížkou a fotočlánky. Pokud se snímací hlava pohybuje vůči měřítku, překrývají se střídavě mezery a rysky mřížky měřítka a snímací masky. Následně fotočlánky zaznamenávají změny světla a tmy periodicky a vytvářejí elektrické signály. Výstupem jsou dva sinusové signály navzájem fázově posunuté o 90° elektrických a zároveň je zaznamenán referenční signál [2].



Obr. 16 Princip fotoelektrického snímače se skleněným pravítkem [2]

Mřížky pravítka jsou vyráběny několika metodami. Metoda Diadur se realizuje extrémně tenkou vrstvou chromu, nanesenou většinou na skle nebo na skleněné keramice s přesností ležící pod oblastí mikrometrů. U ocelových pravítek jsou rysky stupnice zhotoveny přednostně ze zlata, kvůli dobrým reflexním vlastnostem. Interferenční snímače se hodí pro jemné stupnice s periodami 4 – 8  $\mu\text{m}$ . Struktura přesného dělení METTALUR má díky své stavbě z odrazných zlatých vrstev téměř dokonale rovinnou strukturu. Jsou vysoce odolné proti znečištění. [2, 8]

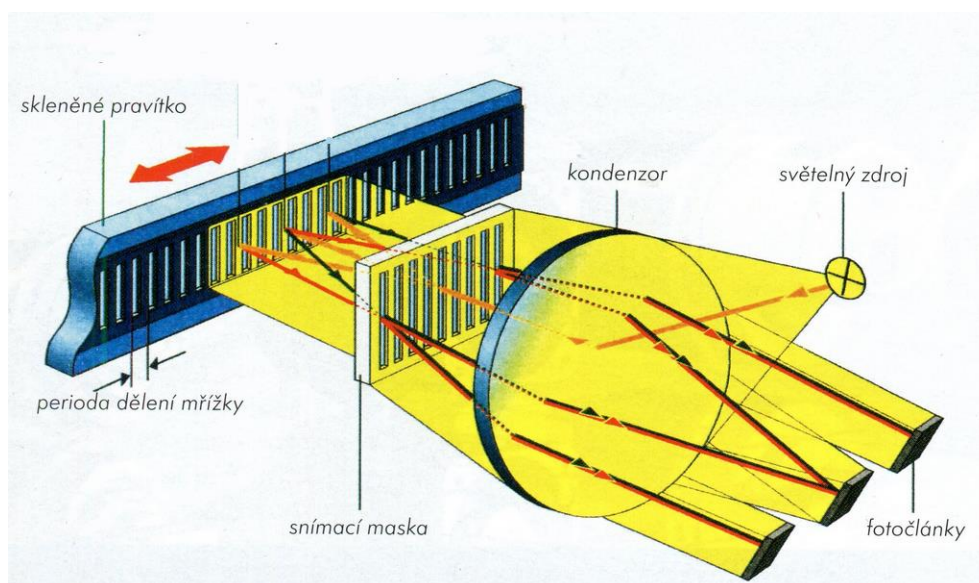


Obr. 17 Dělení DIADUR a METALLUR na různých nosných materiálech [8]

Mezi další lineární odměřovací systémy, které jsou založeny na principu ohybu a interferenci světelného toku. Snímač je vybaven světelným zdrojem kondenzorem, snímací maskou, skleněným pravítkem a fotočlánky. Pokud světelný paprsek prochází přes snímací masku jsou paprsky ohnuty do tří dílčích vln. Od pravítka se dílčí vlny odráží zpět do snímací masky, kde



se znovu lámou a interferují. Vytvoří se tři vlny, které pokračují dále do kondenzoru v různých úhlech. Fotočlánky zachycují tyto vlny a přeměňují je na elektrický signál. [2, 9]



Obr. 18 Interferenční princip měření [2]

#### 4.6 LASEROVÝ PRINCIP

Laserové snímání polohy spočívá na principu laserového Dopplerova metru. Pro tento způsob snímání polohy je charakteristické vysoké rozlišení až  $0,002 \mu\text{m}$ . Mezi výhody patří vysoká přesnost, měření dlouhých délek, malé rozměry jednotlivých komponent a aplikace u lineárních motorů. Naopak nevýhody jsou, zdroj laseru a zpětné zrcátko (odrážeč) musí být dobře krytováno, aby nečistoty nebyly v dráze snímání [2].

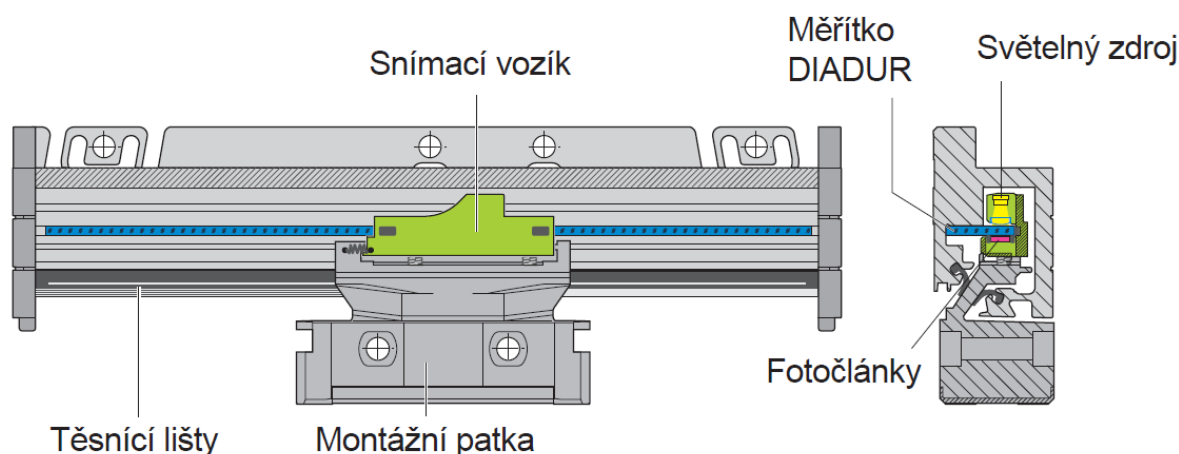


## 5 PRAVÍTKA HEIDENHAIN

Lineární snímače od firmy Heidenhain se používají u číslicově řízených obráběcích centrech, tvářecích strojích. Jsou ideální pro stroje a jiná zařízení, jako jsou například frézovací stroje, obráběcí centra, vrtačky, soustruhy nebo brusky. Dynamické chování, vysoká pojezdová rychlost a zrychlení ve směru měření jsou vlastnosti lineárních snímačů používaných na vysoce dynamických konvenčních osách nebo i na přímých pohonech [9].

### 5.1 KONSTRUKCE

Snímače u CNC strojů jsou zcela zapouzdřeny. Hliníkové pouzdro chrání měřítko, snímací vozík, vodící dráhu od třísek a prachu nebo od stříkajících kapalin. Vnitřní část pravítka od jezdce je chráněna tvarově, pružným těsněním. Snímací vozík se pohybuje podél stupnice s nízkým třením. Spojka spojuje snímací vozík s montážním blokem a kompenzuje vychýlení mezi měřítkem a vedením stroje. [8, 9]



Obr. 19 Řez pravítka Heidenhain [8]

### 5.2 TEPELNÉ VLASTNOSTI

Kombinace stále rychlejšího obrábění v uzavřených stojích vede stále k rostoucí teplotě v pracovním prostoru stroje. Z tohoto důvodu je tepelné chování lineárních snímačů stále důležitější, protože je to základní kritérium pro pracovní přesnosti stroje. Zpravidla, tepelné chování lineárního snímače by mělo odpovídat jako obrobku tak i měřenému objektu. Jestliže se teplota mění, snímač se roztahuje a smršťuje v mezích opakovatelnosti. Pravítka (měřítka) lineárních snímačů jsou definovány koeficienty tepelné roztažnosti, díky kterým je možné zvolit lineární snímač, jehož tepelné vlastnosti jsou vhodné pro danou aplikaci [9].



### 5.3 DYNAMICKÉ VLASTNOSTI

Neustále zvyšování efektivity a výkonosti u obráběcích strojů, se stále vyžadují vyšší rychlost posuvu a zrychlení a zároveň musí být zachována vysoká úroveň přesného obrábění. Rychlost a přesnost posuvu závisí jak na tuhosti konstrukce stroje, tak i na tuhosti lineárních snímačů.

Lineární snímače Heidenhain charakterizuje vysoká tuhost ve směru měření. Tento předpoklad je velice důležitý pro vysoce kvalitní přesnost posuvu na obráběcích strojích. Nízká hmotnost pohybujících se částí, přispívá k vynikajícím dynamickým vlastnostem [9].

#### ZAPOUZDŘENÉ LINEÁRNÍ SNÍMAČE S NÍZKO PROFILOVÝM POUZDREM

- pro stísněné montážní podmínky
- měřicí délka až 1240 mm, s montážní lištou nebo upínacími prvky až 2040 mm

Tab. 1 Typy pravítek s nízko profilovým pouzdrům [8,9]

	<b>Absolutní odměřování LC 400*<sup>1</sup></b>	<b>Přírůstkové odměřování s vysokou přesností opakování LF 485</b>	<b>Přírůstkové odměřování LS 400*<sup>2</sup></b>
<b>Provedení měřítka</b>	Skleněné měřítko DIADUR	Fázová mřížka SUPRADUR na ocelovém nosiči	Skleněné pravítko DIADUR
<b>Perioda dělení [μm]</b>	20	8	20
<b>Třída přesnosti [μm]</b>	±5 ±3	±5 ±3	±5 ±3
<b>Měřicí délka bez montážní lišty [mm]</b>	70 - 1240	50 - 1220	70 - 1240
<b>Měřicí délka s montážní lištou [mm]</b>	70 -2040	-	70 -2040
<b>Pojezdová rychlost [m/min]</b>	≤180	≤60	≤120
<b>Max. zrychlení [m/s<sup>2</sup>]</b>	≤100	≤100	≤100

\* <sup>1</sup> snímače řady LC 419 a LC 495

\* <sup>2</sup> snímače řady LS 487 a LS 477




**ZAPOUZDŘENÉ LINEÁRNÍ SNÍMAČE S VELKOPROFILOVÝM POUZDREM**

- pro velké zatížení vibracemi
- standartní měřicí délka až 30 m, na vyžádání až 72 m

*Tab. 2 Typy pravítek s velkoprofilovým pouzdem [8,9]*

	<b>Provedení měřítka</b>	<b>Perioda dělení [μm]</b>	<b>Třída přesnosti [μm]</b>	<b>Měřicí Délka [mm]</b>	<b>Pojzdová rychlost [m/min]</b>	<b>Max. zrychlení [m/s<sup>2</sup>]</b>
<b>Absolutní odměřování LC 100*<sup>1</sup></b>	Skleněné pravítko DIADUR	20	±5 ±3	Od 140 do 4240	≤180	≤100
<b>Absolutní odměřování LC 200*<sup>2</sup></b>	Ocelový měřicí pásek METALLUR	40	±5	Od 3240 do 28040	≤180	≤100
<b>Inkrementální odměřování s vysoce přesným opakováním LF 185</b>	Fázová mřížka SUPRADUR na ocelovém nosiči	8	±3 ±2	Od 140 do 3040	≤60	≤100
<b>Inkrementální odměřování LS 100*<sup>3</sup></b>	Skleněné měřítko DIADUR	20	±5 ±3	Od 140 do 3040	≤120	≤60
<b>Inkrementální odměřování dlouhých vzdáleností LB 382</b>	Ocelový měřicí pásek AURODUR	40	±5	Od 440 do 30040 (až 72040 na vyžádání)	≤120	≤60

\*<sup>1</sup> řada LC 115 a LC 195 F/M/S

\*<sup>2</sup> řada LC 211, LC 281 a LC 291 F/M

\*<sup>3</sup> řada LS 688 C a LS 628 C



## 6 NÁVRH TESTOVACÍ LINEÁRNÍ OSY

Testovací lineární osa se bude skládat z původní osy s lineárním pohonem. K této ose budou připojeny dva lineární snímače Heidenhain LS 487 s nízko profilovým pouzdem. Pro splnění požadavků testovací osy budou lineární snímače zakrytovány a osa bude doplněna energetickým řetězem.

### 6.1 STÁVAJÍCÍ OSA

Stávající řešení lineární osy se skládá z několika částí. Základní těleso tvoří kovový plát o rozměrech 1280x160x20 mm. Na kovovém plátu je umístěn lineární pohon AL 2403 s přídatným magnetickým odměřovacím snímačem. Primární část je namontována na pohyblivé části osy a oproti je na trvalo umístěná sekundární část. Další částí osy jsou koleje s vozíky a nosná část. Kovový základ je na bocích osazen čely, ve kterých jsou otvory pro kotvící šrouby.



*Obr. 20 Stávající osa*

### LINEÁRNÍ MOTOR BECKHOFF AL 2403

Lineární motor je od firmy Beckhoff, typu AL 2403. AL 2403 je 3 – fázový synchronní lineární motor skládající se z primární a sekundární části. Primární díl je tvořen drážkovaným, laminovaným jádrem s měděným vinutím. Sekundární díl se skládá z ocelového plechu s permanentními magnety. O tohoto pohonu nedochází ke tření. Výhody jsou vysoce přesné



polohování a opakovatelnost. Nevýhodou je vznik velkého oteplování, které lze redukovat ochlazováním [10, 11].



Obr. 21 Lineární motor AL 2403 [10]

Tab. 4 tabulka rozměrů AL 2403

<b>Délka</b>	93	mm
<b>Výška</b>	32	mm
<b>Šířka</b>	28	mm

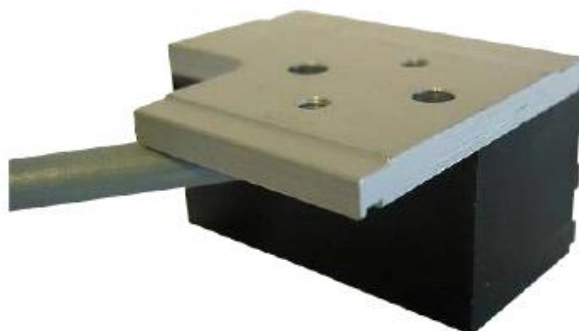
Tab. 3 Technické parametry motoru AL 2403

<b>Maximální rychlost</b>	8	m/s
<b>Maximální zrychlení</b>	30	g
<b>Vrcholová síla</b>	120	N
<b>Vrcholový proud</b>	4,1	A
<b>Kontinuální síla</b>	60	N
<b>Kontinuální proud</b>	1,54	A
<b>Motorová konstanta</b>	95	N <sup>2</sup> /W



### ODMĚŘOVACÍ SYSTÉM BECKHOFF - MES

Magnetické snímač polohy od firmy Beckhoff, častěji označováno zkratkou MES (Magnetic Encoder Systém). Působí přímo na magnetické desce a nevyžaduje další přídatné pravítko. Snímač se skládá z čtečky s integrovanou Hallovy sondou. Hallovy sondy vyhodnocují magnetické pole trvalých magnetů a převádějí na výstupní analogový signál. Představuje finančně nenákladný odměřovací systém s přesností na 0,1 mm [11].



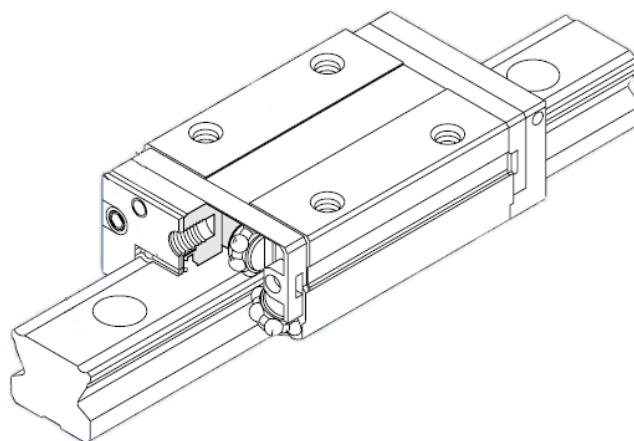
Obr. 22 MES [19]

Tab. 5 Vlastnosti MES [19]

<b>Rozteč stupnice</b>	24	mm
<b>Přesnost</b>	100	μm
<b>Opakovatelnost</b>	<50	μm
<b>Rozlišitelnost</b>	5-10	μm
<b>Napájecí napětí</b>	5	V

### VEDENÍ A VOZÍK

Profilové valivé vedení je od firmy THK. Uvnitř vozíku jsou 4 uzavřené cesty, ve kterých obíhají valivé elementy. Valivé elementy mohou být kuličky nebo válečky. Valivé elementy jsou v kanálech vozíků převáděny řízeně případně volně jedna vedle druhé. Válečkové vedení se využívá pro větší silové zatížení. Kuličky jsou vhodnější pro rychloběžné posuvy. Výhody profilové valivého vedení jsou bezvůlový chod, nízká hlučnost, vysoká rychlost, přesnost polohování nebo snadná údržba [12].



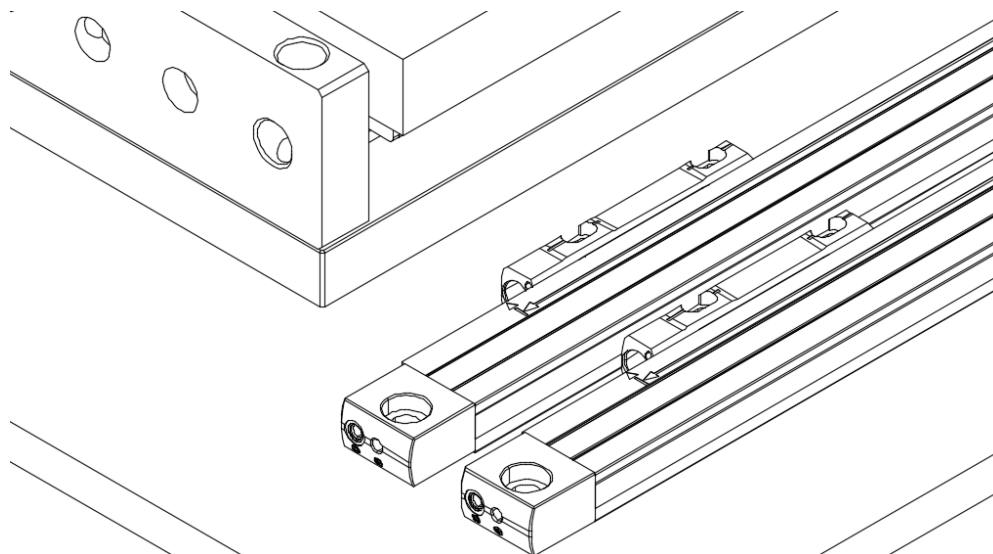
Obr. 23 THK vozík SSR [12]

## 6.2 MONTÁŽNÍ DESKA

Kovová Montážní deska o rozměrech 1500x450x10 mm bude sloužit jako základ testovací lineární osy. Na tento kovový základ bude umístěna stávající osa, připevněna lineární odměřovací pravítka Heidenhain LS 487 a energetický nosič kabelů. Pravítka budou zakrytovány polykarbonátovými deskami aby nedocházelo k odvodu tepla z prostoru měření. Deska se bude technologicky upravena, aby se docílilo požadované přesnosti uložení vedení vůči odměřovacím pravítkům. Drážka obdélníkového tvaru, hloubky 1 mm. Druhá technologická úprava bude provedena pod jezdcí pravítek. Mezi jezdcem a povrchem desky není žádná vůle. Aby nedošlo k destrukci jezdcce, bude vyhotovena drážka v oblasti pohybu jezdcce. Hloubka drážky pod jezdcí činí 1 mm.

## 6.3 UMÍSTĚNÍ LINEÁRNÍCH SNÍMAČŮ

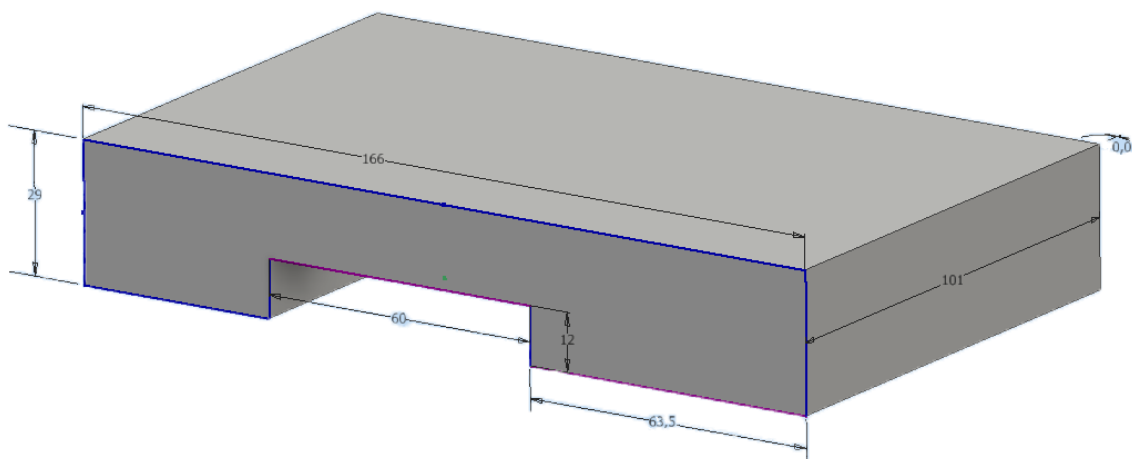
Pravítka Heidenhain řady LS 487 budou upevněny vedle sebe podél stávající osy rovnoběžně s vedením. Toto montážní uložení doporučuje výrobce, tudíž možné nečistoty nebo kapaliny nemohou ovlivňovat funkci pravítka. Pravítka jsou umístěny vedle sebe a budou ukotveny šrouby ISO 4762 – M8. Výhoda tohoto umístění spočívá v jednodušší spojení pravítek se suportem než umístění pravítek po obou stranách osy.



Obr. 24 Umístění snímačů LS 487 na základní desce

## 6.4 SUPORT

Suport je připojen k vozíku lineárního vedení. Slouží jako nosná součást pro spojku spojující suport s pravítky a pro upevnění příruby energetického řetězu. Rozměry původního nosného stolu nevyhovovali k nově vytvořené koncepci a došlo k novému návrhu suportu. Polotovar součásti je z hliníkové slity. Materiál součásti je volen EN – AW-6082.



Obr. 25 Model suportu

V suportu jsou vyvrtané otvory se závity pro upevnění vozíků a vedení a otvory pro uložení primárního dílu lineárního motoru. Spodní plocha stolu bude obrobena, aby vůle  $\pm 0,5$  mm předepsaná výrobcem mezi primární a sekundární částí lineárního motoru byla dodržena.



Tab. 6 Hlavní rozměry suportu

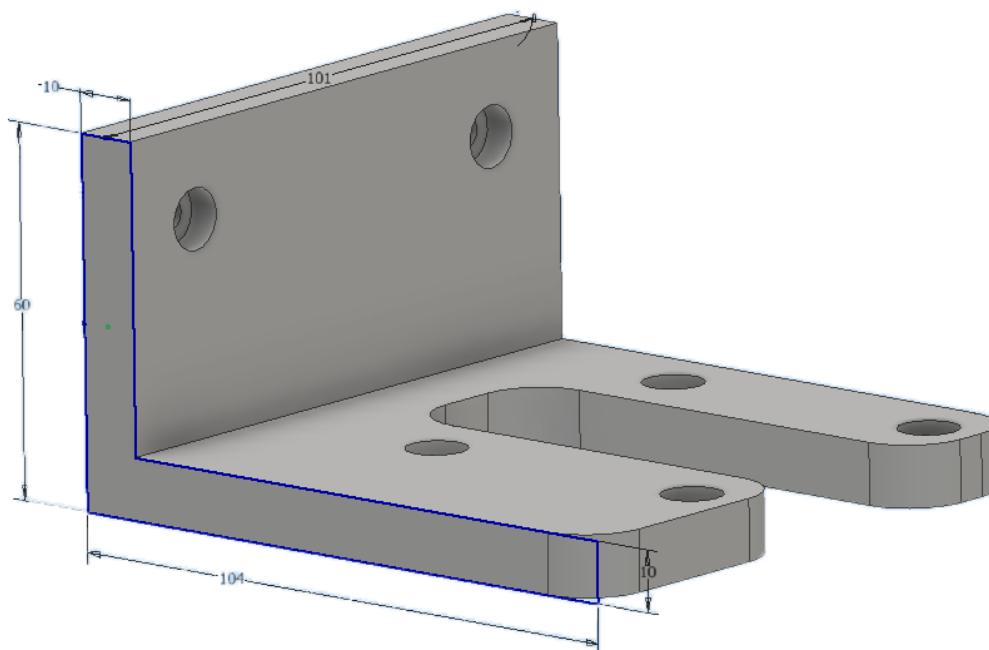
<b>Délka</b>	166	mm
<b>Výška</b>	29	mm
<b>Šířka</b>	101	mm

## 6.5 SPOJKOVÁ PŘÍRUBA

Spojková příruba slouží pro spojení jezdce a suportu a zároveň je nosičem kabelů. Je navržena, aby spojila oba jezdce pravítek naráz a s nosnou částí osy se pohybovali se současně. Spojková příruba je připevněna k suportu dvěma šrouby M8 ISO 4762. Jezdci jsou ke spojce připevněny šrouby 4762 – M4.

Tab. 7 Hlavní rozměry spojkové příruby

<b>Délka</b>	104	mm
<b>Výška</b>	60	mm
<b>Šířka</b>	101	mm
<b>Tloušťka</b>	10	mm



Obr. 26 Model spojkové příruby

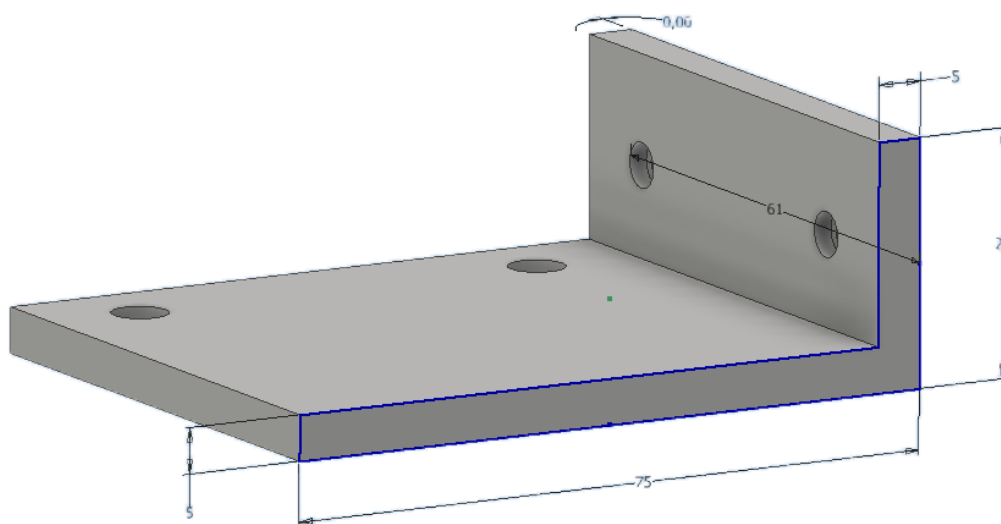


## 6.6 PŘÍRUBA PRO ENERGETICKÝ ŘETĚZ

Příruba pro energetický řetěz je připojena k suportu a nese energetický řetěz. Příruba je přikotvena k suporty šrouby M4 ISO 4762. Materiál součásti je volen EN – AW-6082.

Tab. 8 Hlavní rozměry příruby

<b>Délka</b>	75	mm
<b>Šířka</b>	61	mm
<b>Výška</b>	27	mm
<b>Tloušťka</b>	5	mm



Obr. 27 Model příruby k energetickému řetězu

## 6.7 ZAKRYTOVÁNÍ LINEÁRNÍCH SNÍMAČŮ

Na základě zadání se lineární snímače budou podrobovat teplotnímu zatěžování. Pro následné ověřování vlivů teplot na vlastnostech lineárních snímačů je nezbytné, aby byl odvod tepla od pravítek co nejmenší. Materiál pro zakrytování lineárních snímačů je zvolen komůrkový polykarbonát Marlon TW 8 mm Longlife.

### KOMŮRKOVÝ POLYKARBONÁT

Pro zakrytí snímačů je použito 6 polykarbonátových desek, různých délek.





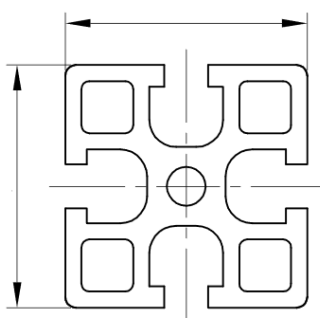
Tab. 9 Rozměry polykarbonátových desek

	Délka [mm]	Šířka [mm]	Počet [ks]
<b>Deska 1</b>	1448	80,5	1
<b>Deska 2</b>	134	80,5	2
<b>Deska 3</b>	1464	130,5	1
<b>Deska 4</b>	1448	16	1
<b>Deska 5</b>	1448	42,5	1

#### VLASTNOSTI KOMŮRKOVÝCH POLYKARBONÁTŮ [20] :

- Nízká hmotnost
- Snadná zpracovatelnost a montáž
- Stabilita fyzikálních a mechanických vlastností v širokém teplotním rozmezí
- Vynikající teplotně izolační vlastnosti

Nosná konstrukce pro komůrkové polykarbonátové desky byla zvolena z hliníkových profilů firmy Alutec K&K s.r.o. Konstrukce z hliníkových profilů jsou velice univerzální, dostupné a jednoduché pro montáž. Základní konstrukční prvek je hliníkový profil 30x30, materiál profilu je AlMgSi 0.5F25



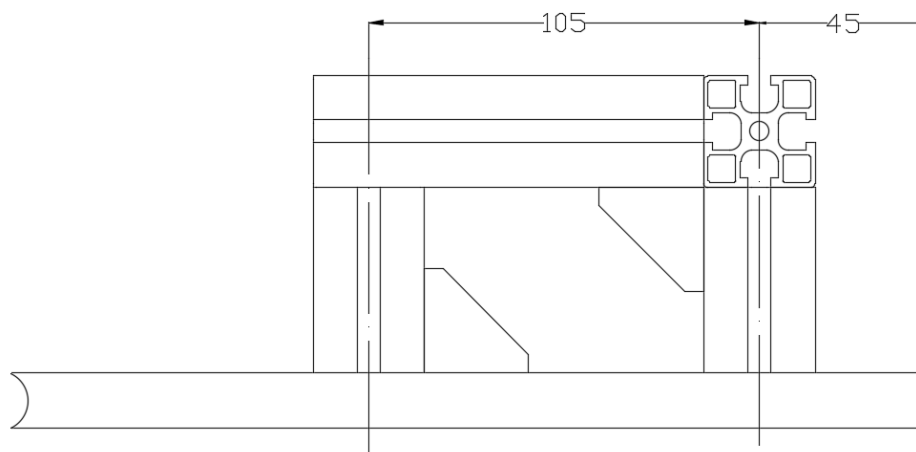
Obr. 28 Průřez hliníkového profilu [21]

Rám z hliníkových profilů je tvořen 6 sloupky délky 50 mm, nosníkem délky 1448 mm a dvěma nosníky délky 105 mm. Sloupky jsou přikotveny k základní desce šrouby a ke sloupkům jsou



připojeny nosníky. K rámu jsou připojeny polykarbonátové desky a tvoří celkové zakrytí lineárních snímačů. Pro montáž jsou voleny šrouby M6 DIN 912 doporučení výrobcem hliníkových profilů.

Obr. 29 Nárys – hlavní konstrukční rozměry [mm]



Obr. 30 Bokorys – hlavní konstrukční rozměry [mm]

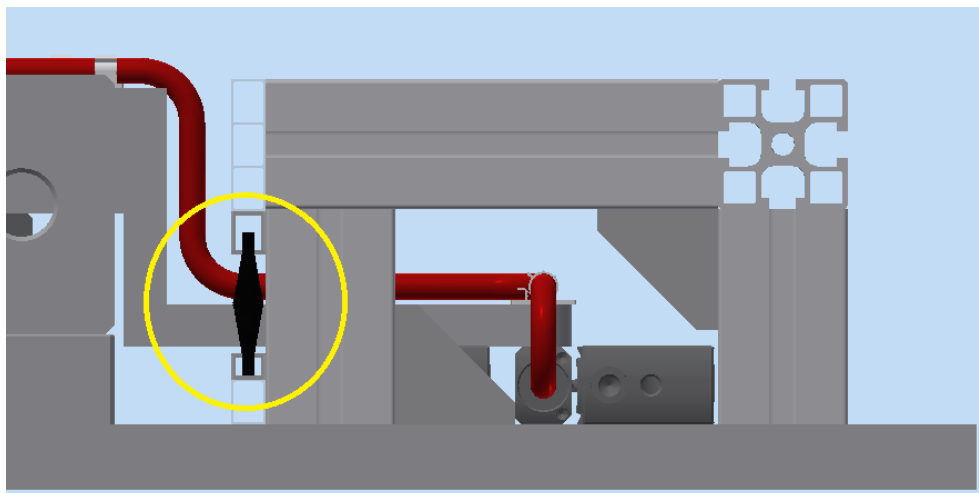
## 6.8 NÁVRH KARTÁČOVÉ LIŠTY

Kartáčové lišty se skládají ze dvou částí. První část je lišta tvaru U, do které jsou nalisovány vlákna štětín, které jsou syntetická nebo kovová. Lišty jsou rovné nebo různě tvarované. Firma Cominvest nabízí širokou nabídku kartáčových lišt.

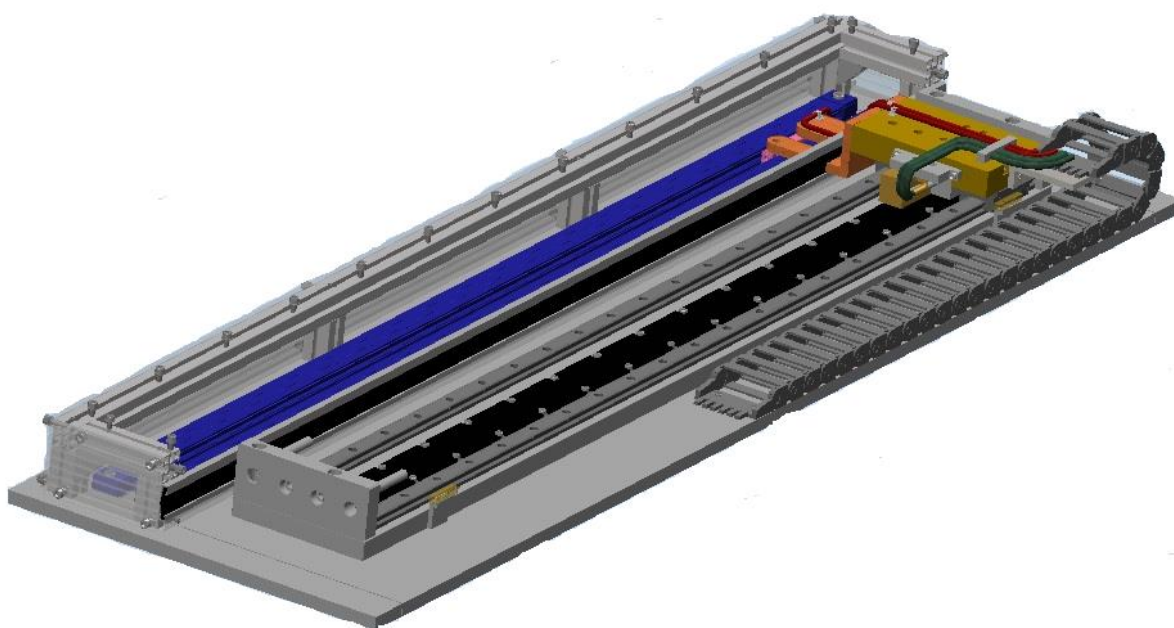
Lišta tvaru U se vloží do polykarbonátové drážky, pokud lišta nedrží v drážce, je možné lištu ukotvit k hliníkovému profilu. Umístění kartáčových lišt je z důvodů co nejmenšího úniku tepla z prostoru měření.

Tab. 10 Rozměry profilu na požadované lišty

	Délka	Šířka	Délka štětín
	[mm]	[mm]	[mm]
<b>Horní lišta</b>	10	8	12,5
<b>Dolní lišta</b>	6	8	12,5



*Obr. 31 Model lišty a štětiny*



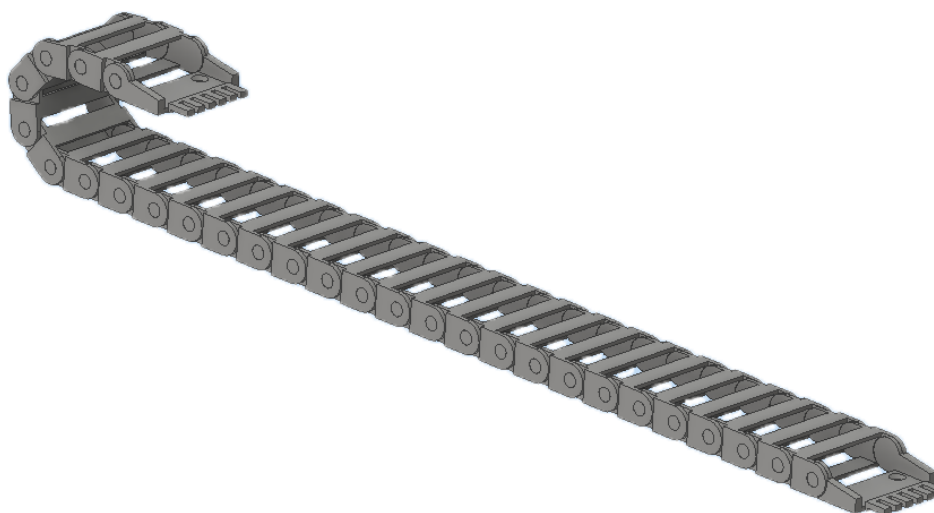
*Obr. 3D model lineární osy*

## 6.9 NÁVRH ENERGETICKÉHO NOSIČE

Energetické nosiče se využívají pro přívod zdrojů energie z nepohyblivé části stroje na pohyblivou část. Jednotlivé prvky v nosiči jsou uvnitř rozmístěny a vzájemně odděleny aby nedocházelo při pohybu nosiče k jejich poškození. Volba vhodného řetězu závisí na zdvihu, rozměrech jednotlivých článků, poloměr ohybu a na zatížení [16].



Energetický řetěz byl vybrán přes aplikaci Expert E-Chain firmy HENNLICH s.r.o. na základě více uvedených parametrů.



*Obr. 32 Energetický řetěz*



## ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce je konstrukční návrh testovací lineární osy, která bude sloužit pro experimentální měření vlivu u lineárních odměřovacích zařízení firmy Heidenhain řady LS 487.

V první části této práce obsahuje shrnutí jednotlivých lineárních mechanismů. Mezi vybrané a popsané lineární mechanismy jsou, kuličkový šroub, pastorek a hřeben, šnek a šnekový hřeben. Dále v rešerší části je rozbor jednotlivých lineárních odměřovacích zařízení. V této oblasti patří mezi špičku firma Heidenhain s širokou nabídkou odměřovacích zařízení.

Konstrukční návrh lineární osy vychází ze stávající osy s lineárním pohonem. Při návrhu se postupovalo po jednotlivých krocích. Nejdříve se navrhovalo umístění snímačů na montážní desku. Umístěny jsou vedle sebe, aby se docílilo zahřívání obou snímačů zároveň. Následně se navrhovalo spojení snímačů s pohyblivou částí. Toto spojení zajišťuje spojovací příruba připevněna k suportu. Následně se navrhoval energetický nosič kabelů a zakrytování pravítek. Zakrytování tvoří hliníkové profily a polykarbonátové desky. Výsledkem práce je 3D model lineární osy doplněná výkresovou dokumentací navrhovaných s



## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] Kuličkové šrouby. KULIČKOVÉ ŠROUBY KUŘIM, a.s..[online]. Dostupné z: <http://www.ks-kurim.cz/>
- [2] MAREK, Jiří. 2014, *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. Praha : MM publishing. ISBN 978-80-260-6780-1.
- [3] BORSKÝ, Václav. *Základy stavby obráběcích strojů*. Brno: Ediční středisko VUT, 1986.
- [4] VŠB-TU Ostrava, FEI. *Pohony s lineárními motory*. [online]. [cit. 2016-5-23]. Dostupné z: <http://www.fe1.vsb.cz/kat430/data/erp2/ERP%20%20Pohony%20s%20lineárními%20motory.pdf>
- [5] HÄBERLE, Heinz. *Průmyslová elektronika a informační technologie*. Praha: Europa-Sobotáles, 2003. ISBN 80-86706-04-4.
- [6] VOJÁČEK, Antonín. *Odměrování polohy s přesností na 0,001mm*. [online]. [cit. 2016-02-02]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/odmerovani-polohy-s-presnosti-na-0001-mm>
- [7] Polohovací systémy. HIWIN. [online]. [cit. 2016-02-03]. Dostupné z: <http://www.hiwin.cz/cz/download/katalogy>
- [8] Výrobní program. HEIDENHAIN. [online]. [cit. 2016-02-03]. Dostupné z: <http://www.heidenhain.cz/>
- [9] Linear Encoders. HEIDENHAIN. [online]. [cit. 2016-02-03]. Dostupné z: [http://www.heidenhain.de/fileadmin/pdb/media/img/571470-29\\_Linear\\_Encoders\\_For\\_Numerically\\_Controlled\\_Machine\\_Tools.pdf#page=](http://www.heidenhain.de/fileadmin/pdb/media/img/571470-29_Linear_Encoders_For_Numerically_Controlled_Machine_Tools.pdf#page=)
- [10] New Automation Technology 2016. BECKHOFF. [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.beckhoff.com>
- [11] Linear servomotor AL2xxx. BECKHOFF. [online]. [cit. 2016-03-18]. Dostupné z: [http://download.beckhoff.com/download/document/motion/al2xxx\\_ba\\_en.pdf](http://download.beckhoff.com/download/document/motion/al2xxx_ba_en.pdf)
- [12] Caged Ball LM Guide. THK. [online]. [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: [https://tech.thk.com/upload/catalog\\_claim/pdf/212E\\_SSR.pdf](https://tech.thk.com/upload/catalog_claim/pdf/212E_SSR.pdf)
- [13] KAVÁN, Martin. Lineární pohony na vzestupu. [online]. [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/linearni-pohony-na-vzestupu.html>
- [14] Kuličkové šrouby. HIWIN. [online]. [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: [http://www.hiwin.cz/cz/produkty//63\\_brousene-kulickove-srouby](http://www.hiwin.cz/cz/produkty//63_brousene-kulickove-srouby)
- [15] Performance and High Performance Linear System. WITTENSTEIN. [online]. [cit. 2016-04-21]. Dostupné z: <http://www.wittenstein-us.com/linear-systems.html>
- [16] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Vyd. 2, přeprac., rozš. Praha: MM publishing, 2010, 420 s. : il. ISBN 978-80-254-7980-3.



- [17] PERNIKÁŘ, Jaroslav. *Úvod do CNC strojů*. [online]. [cit. 2016-01-17]. Dostupné z: [http://sst.opava.cz/pernikar/nove\\_www/CNC\\_soubory/neprime.htm](http://sst.opava.cz/pernikar/nove_www/CNC_soubory/neprime.htm)
- [18] PERNIKÁŘ, Jaroslav. *Úvod do CNC strojů*. [online]. [cit. 2016-01-17]. Dostupné z: [http://sst.opava.cz/pernikar/nove\\_www/CNC\\_soubory/prime.htm](http://sst.opava.cz/pernikar/nove_www/CNC_soubory/prime.htm)
- [19] Magnetic Encoder System (MES). BECKHOFF. [online]. [cit. 2016-05-3]. Dostupné z: [https://download.beckhoff.com/download/document/motion/mes\\_ba\\_en.pdf](https://download.beckhoff.com/download/document/motion/mes_ba_en.pdf)
- [20] Komůrkové polykarbonátové desky. ZENIT. [online]. [cit. 2016-03-05]. Dostupné z: <http://www.polykarbonatove-desky.cz/komurkove-polykarbonatove-desky/>
- [21] Katalog Alutec K&K. ALUTEC K&K. [online]. [cit. 2016-04-29]. Dostupné z: <http://katalogalutecck.aspone.cz/Database/pdf/cz/katalog.pdf>
- [22] Obráběcí stroje. Technická univerzita v Liberci. [online]. [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: [http://www.kvs.tul.cz/download/vyrobní\\_stroje/obrabeci.pdf](http://www.kvs.tul.cz/download/vyrobní_stroje/obrabeci.pdf)
- [23] JANÍČKOVÁ, Petra. Moderní konstrukční řešení CNC strojů. [oline]. [cit. 2016-05-03]. Dostupné z : <http://docplayer.cz/2904039-Moderni-konstrukcni-reseni-cnc-stroju.html>



## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

“ .





## **SEZNAM PŘÍLOH**

Výkresová dokumentace: Spojková příruba, suport, příruba